



**CARACTERIZAÇÃO GEO-ESTRUTURAL
PRELIMINAR
DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DA
NOVA PONTE SOBRE O RIO DOURO**

FEUP - 1996

**CARACTERIZAÇÃO GEO-ESTRUTURAL
PRELIMINAR
DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DA
NOVA PONTE SOBRE O RIO DOURO**

**EURICO S. PEREIRA
HENRIQUE S. B. MIRANDA
ALEXANDRE J. M. LEITE**

FEUP - 1996

CARACTERIZAÇÃO GEO-ESTRUTURAL PRELIMINAR DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DA NOVA PONTE SOBRE O RIO DOURO

INTRODUÇÃO. OBJECTIVOS DO TRABALHO

A solicitação do Arquitecto Adalberto R. G. Dias, o Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) procedeu a um reconhecimento geológico preliminar dos terrenos de ambas as margens do Rio Douro sobre os quais irá desenvolver-se a ponte que, localizada entre as pontes de D. Luís e D. Maria e numa vizinhança mais próxima desta última, estabelecerá nova ligação rodoviária entre as cidades do Porto e V. N. de Gaia.

Face à urgência da solicitação, este reconhecimento abrange de momento apenas uma faixa com sensivelmente 200 metros de largura (do lado Norte), contados para Oeste do eixo previsto da nova ponte e, por limitações do apoio topográfico disponível, com cerca de 120 metros para o lado oposto do sobredito eixo; do lado Sul, o reconhecimento estende-se por uma largura de 100 metros para cada lado daquela linha axial.

O presente estudo vem, pois, a constituir a primeira fase de um trabalho de maior alcance e profundidade, a efectuar em tempo mais dilatado, cujo consistirá no reconhecimento geológico, geotécnico e hidrogeológico exaustivo da porção da margem Norte do Rio Douro compreendida entre as pontes de D. Luís e D. Maria, diligência prévia entendida e estabelecida como indispensável para implementação do Projecto aprovado de recuperação / transformação daquela zona da cidade do Porto.

A razão de ser deste estudo releva da necessidade de conhecer as características dos maciços onde irão situar-se os encontros da nova ponte e implantar-se os seus pilares de sustentação, nomeadamente do duplo ponto de vista do estado de alteração das rochas interessadas e da eventual existência de descontinuidades estruturais significativas (falhas e/ou famílias de diaclases).

A prossecução dos objectivos acima enunciados exigiu a execução dos seguintes trabalhos (a retomar posteriormente com acrescida minúcia):

- 1) - Observação directa de todos os afloramentos rochosos acessíveis em ambas as margens, para reconhecimento e definição da rede de fracturação existente, detecção de possíveis correspondências entre acidentes estruturais observáveis de um e outro lado do Rio Douro e colheita de amostras para tratamento laboratorial e ulterior caracterização petrográfica.
- 2) Cartografia rigorosa de descontinuidades relevantes assinaladas.
- 3) - Tratamento estatístico dos valores de densidade de fracturação encontrados, com vista à definição de direcções dominantes de descontinuidades.
- 4) - Execução de lâminas delgadas das amostras recolhidas para observação microscópica com luz transmitida, visando a caracterização de graus e formas de alteração do granito.
- 5) - Elaboração de um mapa-resumo das observações directas efectuadas e das inferências geológicas extraídas, acompanhado de texto explicativo contendo as conclusões principais e recomendações emergentes dos trabalhos realizados no âmbito deste estudo.

CARACTERIZAÇÃO GEO-ESTRUTURAL

O local previsto para instalação da nova ponte sobre o rio Douro que ligará a cidade de Vila Nova de Gaia, na parte oriental da Serra do Pilar, ao Porto, no prolongamento da Rua das Fontaínhas, recai, do ponto de vista geológico, numa unidade granítica entre as muitas que dão relativa solidez ao sub-solo das duas cidades. E refere-se esta estabilidade em termos relativos, porquanto, ela é condicionada mais longinquamente por estruturas de falhas activas, com registo sísmico significativo, incidentes sobre a parte ocidental de Vila Nova de Gaia, Foz do Douro e zonas portuárias de Matosinhos.

A actividade geológica recente nestas estruturas, sobretudo na designada falha de Porto-Tomar, tem expressão morfológica na escarpa da Madalena e seu prolongamento para a Foz do Douro. O abatimento brusco do nível de base na zona vestibular do rio, produziu o rápido encaixe remontante, sendo igualmente responsável por erosão activa,

abandono de inúmeros terraços a quotas elevadas e *ausência de capas de alteração nos maciços graníticos que marginam o Rio Douro.*

Quadro I

OROGENIA HERCÍNICA			
<i>Idade Geológica</i>	PALEOZÓICO SUPERIOR		
<i>Fases de Deformação</i>	1ª Fase de Deformação (D ₁)	2ª Fase de Deformação (D ₂)	3ª Fase de Deformação (D ₃)
<i>Tempo das Deformações</i>	Devónico médio (≈380 M.A.)	Devónico-Carbonífero (≈360 M.A.)	Carbonífero médio (≈310 M.A.)

OROGENIA ALPINA	
<i>Idade Geológica</i>	CENO-MESOZÓICO
<i>Tempo das Deformações</i>	(≈240 M.A. - ACTUAL)

1 - Granito da Serra do Pilar-Fontaínhas

- **Estrutura** - forma extenso maciço, regra geral, sem manchas de alteração. Exibe granularidade média, presença de moscovite e biotite e esparsos megacristais de feldspato potássico. Tratando-se de um granitóide instalado sob controlo da 3ª Fase de deformação (D₃) Hercínica (*Quadro I*), denota ligeira foleação com orientação média N 50-60 W / subvertical.

- Breves Considerações Petrográficas:

Textura - É de tipo hipautomórfica de granularidade média, com muito esparsos megacristais de microclina-pertite e escassa orientação dos constituintes minerais.

Em alguns casos, revela deformação cataclástica, de características muito frágeis, associada à fracturação, induzindo intensa alteração da plagioclase traduzida em albitização e sericitização, ou seja, argilização generalizada.

Componentes essenciais - Quartzo xenomórfico, com extinção ondulante, resultado da deformação;

Microclina, microclina-pertite e anortose, com inclusões de albite e moscovite secundária;

Plagioclase dos domínios da albite-oligoclase, regra geral, alterada para moscovite e materiais argilosos e, em casos extremos, manifestando intensa fracturação e argilização; Moscovite e biotite em proporções equivalentes.

Componentes subordinados - apatite, óxidos de ferro e titânio, zircão, alanite, rútilo, clorite, e esfena-leucoxena.

Classificação - Granito de grão médio com moscovite e biotite

2 - Fracturação

A fracturação que afecta o maciço granítico da Serra do Pilar-Fontaínhas subordina-se a quatro sistemas fundamentais que passamos a caracterizar e a hierarquizar.

i) - Fendas de Tracção N 40-50 E / 75 SE a sub-verticais (Fig. 1)

Constituem o sistema de fracturas mais representativo nas áreas limítrofes de implantação da futura ponte. A génese deste sistema de fendas está ligada ao campo de tensões de **D₃** Hercínica, mais precisamente à tensão máxima de direcção NE-SW, sub-horizontal, contemporânea da instalação do granito. Dada a sua natureza tractiva, não produz desligamentos durante o orógeno Hercínico. Por outro lado, aquela orientação sub-perpendicular à tensão máxima Alpina, direccionada N.NW-S.SE, não propicia este tipo de movimentos. Trata-se, assim, de **fracturas estabilizadas**.

- Na margem sul do Douro, têm extensão métrica a decamétrica, sem grande continuidade lateral. Em regra, não estão preenchidas por quartzo e apenas num ponto, a

escassos 30 metros do local de implantação do pilar menor, produzem alteração e argilização do granito com uma caixa de falha de cerca de 1,5 metros.

- Na margem norte do Douro, registam grande densidade, extensão decamétrica, continuidade lateral e, regra geral, estão preenchidas por quartzo com estrutura “comb”. A mais significativa destas fracturas, com traçado cartografável entre o rio Douro e o parque das Fontainhas, projecta-se a cerca de 15 metros do pilar menor nesta vertente. ***Sobre esta fenda de tracção, deverá recair cuidado saneamento e estabilização.***

Entretanto, na vertente norte, surge com relativa frequência um sistema de fracturas N 60-70 E / sub-verticais que não se enquadra inteiramente no esquema proposto para génese das fendas de tracção. Nos trabalhos complementares de pormenorização, estudaremos com detalhe este sistema de fracturação, no intuito de o inserir num modelo coerente com os restantes sistemas.

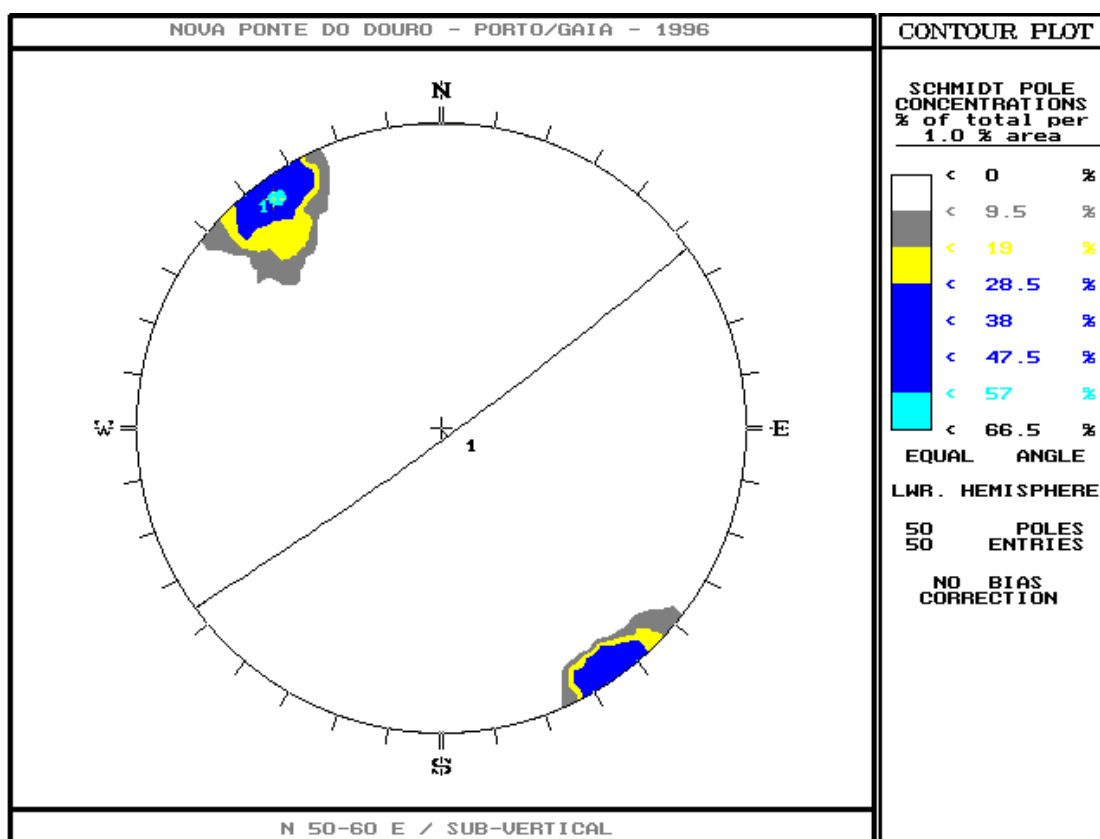
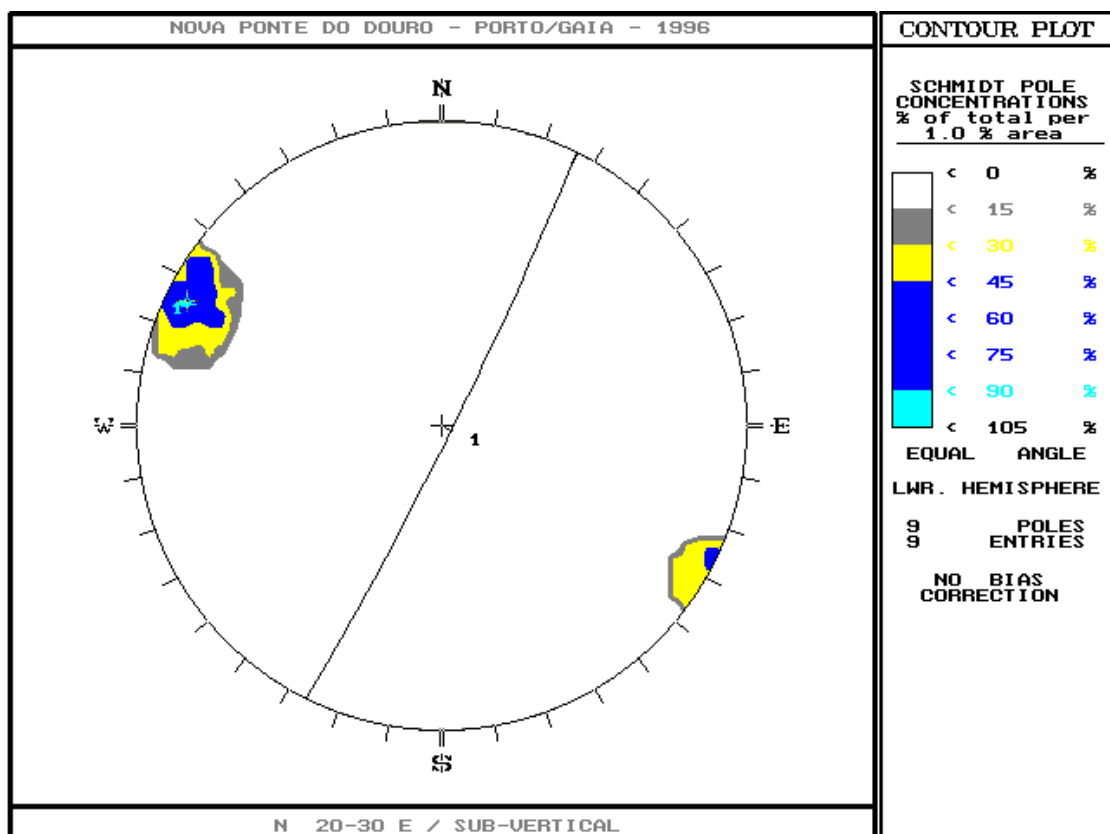


Fig. 1

ii) - *Fracturação frágil N 20-30 E / sub-verticais (Fig. 2)*

O presente sistema de fracturas forma feixes de fracturas paralelas, descontínuos, com espessura decamétrica. Embora de grande significado à escala regional, não têm grande repercussão à escala local. A sua génese está associada à fracturação frágil tardi-Hercínica, posterior portanto, à implantação do maciço granítico da serra do Pilar-Fontaínhas. Todavia, quer nos tempos tardi-Hercínicos, com a rotação da tensão máxima para próximo de N-S, quer no Alpino, com a tensão máxima direccionada N.NW-S.SE, estas fracturas são reactivadas segundo desligamentos sub-horizontais senestres. Tais movimentos estão materializados pelo evidente desenvolvimento de estrias nas paredes das fracturas fazendo um ângulo máximo de 10° com a horizontal e inclinação aleatória para norte ou sul. Definem, pois, desligamentos sub-horizontais senestres compatíveis com o campo de tensões tardi-Hercínica e Alpina, a que antes nos reportámos.



- Na vertente sul do rio Douro, definiu-se um destes feixes de

Fig. 2

fracturas paralelas com espessura de cerca de 10 metros cuja projecção se situa no leito do rio a cerca de 8 metros para oeste do pilar-mestre da projectada ponte. Um outro sistema mal delineado poderá projectar-se, no leito do rio, a cerca de 12 metros do mesmo pilar em sentido contrário, para leste. Definem um intervalo de segurança, aproximadamente com 20 metros, onde recai o referido pilar.

- Na margem norte do Douro, na parede aflorante em que assentam os lavadouros das Fontainhas, foi encontrada uma destas facturas, em associação com uma outra de NE, resultando desta associação uma alteração planar do maciço com a direcção do pequeno pilar Norte previsto para sustentação da ponte. *A esta associação deverá ser dada alguma atenção com vista à sua consolidação.*

iii) - Reactivação frágil de cisalhamentos N 50-60 W / sub-verticais (Fig. 3).

Embora os cisalhamentos dúcteis sejam uma constante neste tipo de granitos, as fracturas frágeis que lhes foram sobreimpostas estão escassamente representadas.

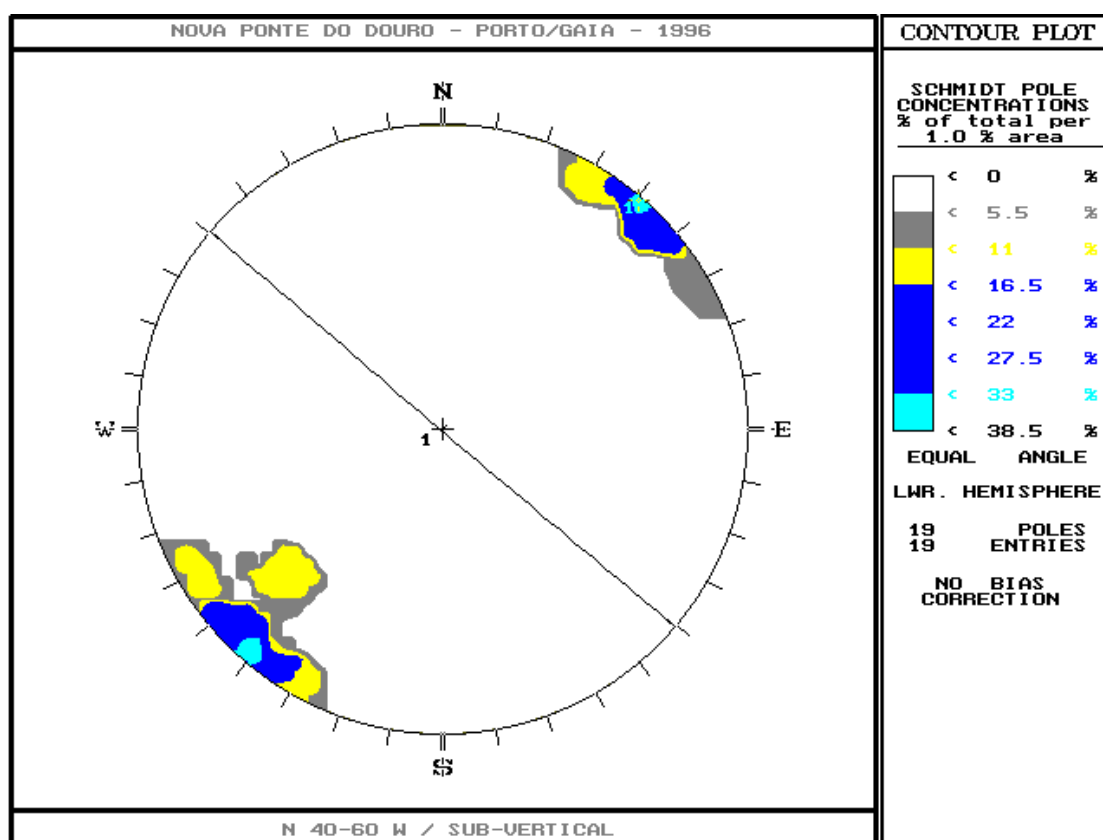


Fig. 3

Evidenciam zonas de fraqueza induzidas pelos cisalhamentos que controlam a **D₃** Hercínica de deformação e comandaram a instalação dos granitóides peraluminosos do tipo do maciço da Serra do Pilar.

Tais zonas de fraqueza podem ser reactivadas como sistemas frágeis, concomitantes dos movimentos transcorrentes definidos na alínea anterior. Com efeito, os primitivos cisalhamentos sin-**D₃** Hercínica, com orientação NW-SE, ao serem actuados por compressões N-S ou N.NW-S.SE, a que antes nos referimos, passam a desligamentos frágeis, conjugados das fracturas N 20-30 E / sub-verticais. O movimento mais comum nas fracturas NW-SE é, pois, dextro e sub-horizontal, *sendo localmente pouco significativo*.

iv) - Fracturação sub-horizontal

Por último, a fracturação sub-horizontal resulta da retracção ou descompressão do maciço granítico, não só em associação com o relaxamento das tensões Hercínicas, como



Foto 1

também em consequência da diminuição actual das tensões Alpinas. Na margem direita do Rio Douro (Foto 1), junto à estrada marginal e nas proximidades de uma escadas de acesso à linha de caminho de ferro desactivada da Alfandega, é possível encontrar uma destas estruturas com uma caixa de alteração importante.

A presente fracturação, de dimensão métrica ou, por vezes, decamétrica, é ubíqua na área de implantação da nova ponte. *Submetidas, estas fracturas, a compressões verticais elevadas, podem sofrer deslizamentos gravíticos centimétricos*. A direcção e sentido dos deslizamentos são funções do pendor dos planos de fractura, sendo previsível, caso a caso, o tipo de movimento.

Dada a sua natureza aleatória, estas fracturas *merecem especiais cuidados construtivos*. Os locais de implantação dos pilares devem ser reconhecidos por sondagens até cerca de 50 metros de profundidade. Quanto à estabilização dos acidentes em análise, não implica especial acuidade geotécnica. O saneamento pode ser efectuado por ancoragem mediante enchimento de furos verticais de ϕ 5 polegadas.

3 - Considerações finais e recomendações

Do exposto é de concluir que o granito onde está previsto assentar os pilares de suporte da nova ponte não possui capas de alteração importantes e que, de uma maneira geral, não existem acidentes geológicos de grande envergadura que coloquem em causa o projecto agora aprovado.

Porém, devemos salientar a ocorrência de famílias de fracturas que se nos afiguram merecedoras de alguma atenção. A cartografia realizada identifica a localização destas principais famílias, pelo que ela deverá ser um auxiliar no ante-projecto de construção e início da mesma. Para além do já referido no relatório destacamos:

- Na margem esquerda do Rio Douro, realçamos a existência de um corredor de fracturas com planos de direcção sensivelmente NNE e que apresentam alguma continuidade no sentido do pilar principal da ponte.
- Na margem direita, a fenda de tracção de direcção NE e que passa ligeiramente a SE do pilar pequeno, apresenta para além de uma importante continuidade, alguma caixa de alteração, pelo que sobre ela deverá recair cuidado saneamento e estabilização.
- Ainda na margem direita do Rio Douro, deverá se analisado, com vista à sua consolidação, o maciço imediatamente a Norte do pilar pequeno referido (onde assenta o lavadouro das Fontainhas), dada a existência de algumas associações de fracturas de NE com fendas de NNE. Caso este maciço seja usado como local para ancoragens de apoio à construção, é nossa opinião que, dada a concorrência das fracturas já referidas com outras do quadrante Oeste, está de forma empírica estabelecida a possibilidade de se definirem blocos “cunha” que com maior ou

menor facilidade se individualizarão aquando sujeitos a uma solicitação com sentido Sul-Norte. Para que tal não aconteça, a consolidação deste maciço deve ser cuidada.

- Finalmente, destacamos as fracturas sub-horizontais que inevitavelmente aparecem associadas a todas as outras fracturas já referidas. A esta associação deverá ser prestada cuidadosa atenção pois que estas, quando submetidas a compressões verticais elevadas, podem sofrer deslizamentos gravíticos importantes, originando blocos em consola.

O Departamento de Minas da FEUP encontra-se, através dos seus engenheiros e investigadores, nomeadamente os que subscrevem este relatório, disponível para qualquer explicação conducente à melhor compreensão do mesmo.

FEUP - Dep. Minas, 26 de Fevereiro de 1996

Eurico S. Pereira

Prof. Associado Convidado - Dep. Minas - FEUP

Henrique S. B. Miranda

Prof. Auxiliar - Dep. Minas - FEUP

Alexandre J. M. Leite

Assistente - Dep. Minas - FEUP